

Verfahren zur Reparatur eines Bauteils einer  
Strömungsmaschine

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Repara-  
5 tur eines beschädigten und/oder gealterten Bauteils einer  
Strömungsmaschine, welches zumindest teilweise aus einem  
keramischen Verbundwerkstoff gebildet ist.

Strömungsmaschinen, wie beispielsweise Dampf- oder Gasturbi-  
10 nen, Verdichter oder dergleichen, weisen insbesondere in  
ihrem Strömungskanal Bauteile auf, die während des Betriebs  
der Strömungsmaschine hohen physikalischen und chemischen  
Beanspruchungen ausgesetzt sind. Solche Bauteile sind insbe-  
sondere Leit- und Laufschaufeln, aber auch Wandelemente,  
15 welche den Strömungskanal bilden oder diesen auskleiden.  
Besonders bei Gasturbinen unterliegen die mit Heißgas beauf-  
schlagten Bauteile während des bestimmungsgemäßen Betriebs  
einer Vielzahl von Einwirkungen wie durch korrosive Medien,  
durch oxidierende Atmosphäre, durch hohe Temperaturen oder  
20 auch durch Fremdkörper. Dies kann dazu führen, dass Bauteile  
beschädigt werden bzw. einer Alterung unterliegen.

Für hohe Anforderungen an die Bauteile, wie beispielsweise  
bei Gasturbinen, ist es vorgesehen, dass diese Bauteile aus  
25 keramischen Verbundwerkstoffen hergestellt sind, die bei-  
spielsweise durch einen Verbund aus Keramik und Metall oder  
auch unterschiedlichen keramischen Werkstoffen gebildet sein  
können. Um den hohen Anforderungen beim Betrieb der Strö-  
mungsmaschine gerecht werden zu können und um einen hohen  
30 Wirkungsgrad erreichen zu können, werden im Stand der Technik  
in zunehmendem Maße Bauteile aus keramischen Verbundwerkstof-  
fen, insbesondere Kombinationen unterschiedlicher keramischer  
Werkstoffe, verwendet. Zur Verbesserung des typischerweise  
spröden Bruchverhaltens wird in einen keramischen Werkstoff,  
35 den Matrixwerkstoff, ein weiteres Material mit einem von der  
Matrix abweichenden Gefüge eingelagert. Eine erhöhte Resis-  
tenz gegen äußere Einwirkungen kann erreicht werden, das

heißt kleine Fehler im Material, wie beispielsweise bei der Herstellung oder durch Beanspruchung im Betrieb erzeugt, führen nicht unmittelbar zur Beschädigung des Bauteils. Bekannt ist, zur Verbesserung der Eigenschaften der Verbundwerkstoffe  
5 eine Partikelverstärkung, beispielsweise eine Whisker-Verstärkung, vorzusehen. Bei solchen Keramiken ist es jedoch erforderlich, sicherzustellen, dass die Kurzfasern bzw. Whisker während des bestimmungsgemäßen Betriebs in der Keramikmatrix gebunden bleiben, da diese aufgrund einer Lun-  
10 gengängigkeit einer hohen Gefahrenstoffklasse zugeordnet sind. Daher werden mittlerweile bevorzugt Langfasern verwendet, die als Glas oder auch Glaskeramik beispielsweise aus SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, C, BN oder auch aus Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> oder eine Kombination hiervon gebildet sind. Tritt nun eine Beschädigung an einem  
15 solchen Bauteil auf, so ist es bisher üblich, die Strömungsmaschine abzuschalten und das beschädigte Bauteil zu ersetzen. Andernfalls steht zu befürchten, dass das beschädigte Bauteil zu weiteren, größeren Schäden an der Strömungsmaschine führt, die einen enormen Reparaturaufwand sowie eine  
20 hohe Standzeit nach sich ziehen können.

Der Ersatz eines defekten Bauteils kann eine hohe Standzeit bewirken, insbesondere wenn das Bauteil nicht lagermäßig ver-  
25 fügbar ist. Darüber hinaus wird durch den Austausch in unerwünschter Weise erreicht, dass die Bauteile der Strömungsmaschine unterschiedliche Alterungszustände aufweisen. Bei einer folgenden routinemäßigen Wartung werden dann möglicherweise Bauelemente ausgetauscht, die einem nachfolgenden Be-  
30 triebszyklus noch standhalten würden.

Die US 2003/0196305 A1 offenbart ein Verfahren zum Reparieren von keramischen Kompositen, bei der die zu reparierende Stelle schichtweise mit faserverstärkten Bändern aufgefüllt  
35 wird. Somit bestehen zwischen den einzelnen Bändern keine Faserübergänge, so dass die Bänder untereinander eine schlechte mechanische Bindung aufweisen.

Weiterer Stand der Technik ist aus der US 2002/018236 A1, der EP 1 251 191 A1, der US 5,444,911 sowie der EP 1 063 210 A1 bekannt.

5

Der vorliegenden Erfindung liegt damit die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, welches ermöglicht, die durch beschädigte Bauteile verursachten Stillstandzeiten der Strömungsmaschine zu reduzieren sowie eine Möglichkeit zu schaffen, beschädigte Bauteile zu reparieren.

Als Lösung wird mit der vorliegenden Erfindung ein Verfahren zur Reparatur eines beschädigten Bauteils einer Strömungsmaschine aus einem keramischen Verbundwerkstoff vorgeschlagen, welches folgende Schritte umfasst: Auflösen der Fügung des Bauteils, Auslaugen der Matrix und/oder mechanisches Bearbeiten des Bauteils, Infiltration zur Wiederherstellung und/oder Erneuerung der keramischen Matrix des Bauteils und Wiederherstellen der Fügung.

Mit der Erfindung wird erstmals die Möglichkeit geschaffen, ein Bauteil aus keramischem Verbundwerkstoff einer Strömungsmaschine zu reparieren, insbesondere auch Bauteile, die mit Heißgas beaufschlagt werden. So ermöglicht das Aufheben der Fügung ein Zerlegen des Bauteils, welches in Klebetechnik oder Sintertechnik gefügt wurde. Somit kann erreicht werden, dass der beschädigte Teil des Bauteils freigelegt wird und für die weitere Bearbeitung gut zugänglich zur Verfügung steht. In einem folgenden Schritt wird die Matrix des beschädigten Teils des zerlegten Bauteils ausgelaugt und/oder mechanisch bearbeitet. Mit dem Auslaugen kann bewirkt werden, dass betriebsbeanspruchte Teile der Matrix des keramischen Verbundwerkstoffs herausgelöst werden, ohne die Faserstruktur zu beschädigen. Das Auslaugen kann durch Einwirkungen eines fluiden Stoffs wie einem geeigneten Gas oder einer geeigneten Flüssigkeit erreicht werden. Darüber hinaus kann der beschä-

digte Bereich durch Material abhebende Bearbeitung bearbeitet werden, wie beispielsweise Schleifen, Fräsen oder dergleichen. So kann der beschädigte Bereich ausgemuldet werden, um so eine Grundlage für eine Reparatur zu bilden. In einem folgenden Schritt erfolgt die Infiltration zur Wiederherstellung und/oder Erneuerung der keramischen Matrix des Bauteils. So kann die keramische Matrix lokal wiederaufgebaut werden. Die Infiltration kann beispielsweise aus einer Gas- bzw. flüssigen Phase erfolgen. Die zu infiltrierende Stelle wird dazu  
5 einem geeigneten Fluid ausgesetzt. Es kann aber auch eine Polymerinfiltration durchgeführt werden, um den Schritt der Infiltration auszuführen. Abschließend wird das Bauteil durch Fügen wieder hergestellt. Das Wiederherstellen der Fügung kann direkt auch als Reparatur- oder Füllverfahren genutzt  
10 werden. Damit kann die Außenkontur des beschädigten Bauteils wieder hergestellt werden, um insbesondere seine strömungsdynamischen Eigenschaften zu gewährleisten. Besonders vorteilhaft erweist es sich, dass Ersatzbauteile, die in der Regel sehr kostenintensiv sind, nicht vorgehalten werden müssen.  
15 Die Logistik für Lagerhaltung und Beschaffung von Ersatzteilen kann reduziert werden. So ermöglicht das erfindungsgemäße Verfahren eine rasche und kostengünstige Wiederherstellung der Funktion der Strömungsmaschine, insbesondere außerhalb der vorgesehenen Wartungsintervalle, wodurch Stillstandzeiten  
20 aufgrund der Reparatur reduziert werden können.  
25

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das Bauteil nach dem Schritt des Auflöses der Fügung vor einer weiteren Bearbeitung entschichtet wird. Hierdurch wird vorteilhaft die Reparatur von lokalen Beschädigungen und/oder  
30 Abplatzungen eines Oxidations- oder Korrosionsschutzes ermöglicht. So kann beispielsweise das Entschichten vorgesehen sein, um den Bereich der Beschädigung des Bauteils einer Auslaugung und dem erneuten Einarbeiten der Matrix durch Polymerinfiltration und abschließende Pyrolyse zugänglich zu ma-  
35 chen. Ferner können Beeinträchtigungen, insbesondere Behinde-

rungen, durch die Beschichtung während der erfindungsgemäßen Reparatur des Bauteils vermieden werden.

In einer Weiterbildung der vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, dass vor dem Schritt der Infiltration ein Einweben und/oder Wiederbeschichten der Fasern durchgeführt wird. Durch das Einfügen von einzelnen Fasern oder vorgefertigten Gewebeplatten wie Matten, Gitterstrukturen oder dergleichen kann eine den Verbundwerkstoff bildende Struktur wiederhergestellt werden. Darüber hinaus kann ein lokaler Wiederaufbau unter Erreichung verbesserter mechanischer Eigenschaften gegenüber der keramischen Matrix ermöglicht werden. Zusätzliche Stabilität kann gegenüber einem reinen Auffüllen ausschließlich mit keramischer Masse erreicht werden. Die Fasern, Matten oder Gitterstrukturen können aus einem nicht-oxidischen Werkstoff wie Siliziumkarbid, Karbon oder einem anderen keramischen, insbesondere oxidischen, Werkstoff gebildet sein.

Es wird ferner vorgeschlagen, dass das Bauteil vor dem Schritt der Wiederherstellung der Fügung gesintert wird. Das Sintern kann mittels bekannter Sinterverfahren wie Lasersintern, Plasmasintern oder dergleichen kostengünstig erreicht werden.

Um das Sintern im eingebauten Zustand des Bauteils in einer Gasturbine durchführen zu können, wird vorgeschlagen, die Gasturbine kurzzeitig zu überfeuern. Die Überfeuerung der Gasturbine ermöglicht ein Abbinden der keramischen Matrix am eingebauten Bauteil der Gasturbine. So kann das Sintern besonders vorteilhaft im eingebauten Zustand des Bauteils durchgeführt werden.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass das Bauteil vor dem Schritt der Wiederherstellung der Fügung beschichtet wird. So kann für das Bauteil eine Verlängerung des Oxidations- bzw. Korrosionsschutzes erreicht werden.



Ferner wird vorgeschlagen, dass nach dem Schritt der Wiederherstellung der Fügung ein Oberflächenschutz vorgesehen wird. Der Oberflächenschutz kann durch CVD, PVD oder Plasmaspritzverfahren ausgeführt werden. Vorteilhaft ist der Oberflächen-  
5 schutz für das gesamte Bauteil vorgesehen und umfasst somit auch die Stellen, an denen das Bauteil gefügt ist. Eine hohe Zuverlässigkeit des Bauteils kann erreicht werden.

In einer weiteren Ausgestaltung wird vorgeschlagen, dass das  
10 Verfahren zur Reparatur eines beschädigten Bauteils einer Strömungsmaschine, welches zumindest teilweise aus einem keramischen Verbundwerkstoff gebildet ist, folgende Schritte umfasst: Auslaugen der Matrix und/oder mechanisches Bearbeiten des Bauteils, Infiltration zur Wiederherstellung und/oder  
15 Erneuerung der keramischen Matrix des Bauteils und Sintern des Bauteils. Gegenüber dem oben angeführten erfindungsgemäßen Verfahren zeichnet sich dieses Verfahren dadurch aus, dass es insbesondere zur Reparatur eines beschädigten Bauteils im eingebauten Zustand in der Strömungsmaschine geeignet  
20 ist. Neben den bereits genannten Vorteilen kann somit zudem der Aufwand für eine Montage weiter verringert werden.

Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass nach dem Schritt des Auslaugens der Matrix und vor dem Schritt der Infiltration  
25 ein Einweben und/oder Wiederbeschichten der Fasern durchgeführt wird. Auch bei diesem alternativen erfindungsgemäßen Verfahren kann eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften gegenüber der reinen keramischen Matrix erreicht werden. Darüber hinaus ermöglicht dieses Verfahren, dass eine bereits  
30 vorhandene Faserstruktur ebenfalls repariert werden kann.

Weitere Merkmale und Vorteile sind der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen zu entnehmen. Gleiche Bauteile und Verfahrensschritte werden mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet.  
35 Die Ausführungsbeispiele dienen lediglich der Erläuterung der Erfindung und sollen diese nicht beschränken.

Es zeigen:

- 5      Fig. 1      eine erste Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen  
Verfahrens zur Reparatur eines durch Fremdkörper-  
einwirkung beschädigten in einer Gasturbine einge-  
bauten Bauteils,
- 10      Fig. 2      ein zweites erfindungsgemäßes Verfahren zur Repara-  
tur eines in einer Gasturbine eingebauten Bauteils,
- 15      Fig. 3      eine dritte Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen  
Verfahrens zur Reparatur eines ausgebauten Bauteils  
einer Gasturbine,
- 20      Fig. 4      ein weiteres erfindungsgemäßes Verfahren zur  
Reparatur eines ausgebauten Bauteils einer Gastur-  
bine,
- 25      Fig. 5      ein erfindungsgemäßes Verfahren zur Reparatur eines  
ausgebauten Bauteils einer Gasturbine mit Herstel-  
lung eines anschließenden Oberflächenschutzes,
- 30      Fig. 6      ein Verfahren zur Reparatur eines Bauteils mit Be-  
schichtung der Fasern und Oberflächenschutz,
- 35      Fig. 7      eine Schemadarstellung einer Leitschaufel aus einem  
keramischen Verbundwerkstoff einer Gasturbine mit  
Beschädigungen und
- 40      Fig. 8      einen vergrößerten Ausschnitt des Bereichs A aus  
Fig. 7.
- 45      Fig. 9      eine zu reparierende Stelle.

Figur 1 zeigt ein erstes erfindungsgemäßes Verfahren zur Reparatur einer Leitschaufel 1 (Fig. 7) einer nicht näher dargestellten Gasturbine, die während des Betriebs in der Gasturbine beschädigt worden ist. Die hier vorliegende

5 Leitschaufel 1 besteht aus einem keramischen Werkstoff wie beispielsweise Siliziumnitrit, Siliziumcarbid, Aluminiumoxid, Zirkoniumoxid, Mullit, Glas, Glaskeramik und/oder dergleichen. Dieser Werkstoff wird üblicherweise Matrix genannt. Zur Verbesserung des spröden Bruchverhaltens ist in

10 das Matrixmaterial eine Faserverstärkung eingebracht, die beispielsweise aus Glas, Glaskeramik, Siliziumcarbid, Siliziumnitrit oder dergleichen als auch einer Kombination hiervon bestehen kann, wodurch ein quasi plastisches Verformungsverhalten erzielt werden kann. Daneben besteht

15 auch die Möglichkeit, anstelle oder zusätzlich der Fasern so genannte Kurzfasern oder Whisker in die Matrix einzubringen. Aus Umweltschutzgründen ist jedoch die erste Ausführung bevorzugt. Mit derartigen Schaufeln ausgerüstete Gasturbinen erlauben eine hohe Einlasstemperatur in den Turbinenbereich

20 von 1100° C bis zu 1350° C, wobei Wirkungsgrade von 31 %, 40 % oder darüber hinaus erreicht werden können.

Die Erhöhung der Bruchzähigkeit solcher Werkstoffe beruht ganz wesentlich auf dem Ablenken von Rissen aus ihrer Aus-

25 breitungsrichtung an der Grenzfläche zwischen Matrix und Faser. Dabei wird Energie dissipiert und die weitere Rissausbildung reduziert. Wenn eine Faser reißt, wird sie durch eine Zugbelastung aus der Matrix herausgezogen, wodurch ebenfalls Energiedissipation auftritt. Dabei treten Spannungsumlagerungen auf, die wie bei einem Metall abgebaut werden können. Die

30 Fasern können selbst eine Beschichtung aufweisen, beispielsweise aus Kohlenstoff oder Bornitrid. Als Faserwerkstoffe werden sowohl oxidische als auch nicht-oxidische Fasern eingesetzt. Nicht-oxidische Fasern umfassen Kohlenstofffasern,

35 Fasern aus Siliziumcarbid, Siliziumnitrid und Bornitrid sowie SiBNC. Oxidische Fasern dagegen bestehen im Wesentlichen aus Aluminiumoxid (Saphirfasern), Mullit ( $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$ ) und



Zirkonoxid. Von der Firma Nippon Carbon oder Tyranno können beispielsweise die Fasern Hi-Nicalon und Hi-Nacalon S bezogen werden. Darüber hinaus sind Oxidfasern von der Firma 3M unter der Bezeichnung Nextel 610 und Nextel 720 erhältlich. Matrix-  
5 werkstoffe werden in der Regel nicht nur nach den verwendeten Werkstoffen sondern auch nach dem Herstellungsverfahren unterschieden, wobei als Werkstoffe beispielsweise Glas, Siliziumdioxid, Aluminiumoxid, Siliziumcarbid oder Siliziumnitrit zum Einsatz kommen.

10

Das Wandelement (nicht dargestellt) mit der beschädigten Leitschaufel 1 wird im vorliegenden Beispiel aus der Turbine ausgebaut und gemäß einem ersten Schritt, wie in Fig. 1 dargestellt, mechanisch bearbeitet bzw. ausgemuldet. Danach erfolgt durch die Infiltration oder den Pastenauftrag der lokale Wiederaufbau von keramischer Matrix. Anschließend wird der reparierte Bereich des Bauteils gesintert und das Wandelement mit der Leitschaufel 1 an seiner Stelle in der Turbine wieder eingebaut. Je nach Zugänglichkeit des Bauteils  
15 innerhalb der Turbine kann die Reparatur auch im eingebauten Zustand des Bauteils durchgeführt werden.

Gemäß Figur 2 wird ein weiteres Verfahren vorgeschlagen, wobei lokal die Matrix des beschädigten Bauteils 1 in einem ersten Schritt ausgelaugt wird (Fig. 8). In einem weiteren Schritt werden die Fasern eingefügt, wodurch verbesserte mechanische Eigenschaften gegenüber der keramischen Matrix  
25 erreicht werden können. Anschließend erfolgen die Schritte Infiltration und Sintern wie im vorherigen Beispiel zu Fig. 1.  
30

Figur 3 zeigt ein Verfahren zur Behebung eines Alterungseffekts der Leitschaufel 1, der infolge einer Sinterung der keramischen Matrix an der Leitschaufel 1 aufgetreten ist. Um diese Beschädigung zu beheben, wird in einem ersten Schritt  
35

die Fügung aufgelöst und anschließend die Leitschaufel 1 entschichtet.

Üblicherweise bildet die Beschichtung 3 des Bauteils eine Schutzschicht, die je nach Anwendungsfall Aluminium, Silizium und/oder Chrom aufweist. Diese Schutzschicht bildet an ihrer Schichtoberfläche zum Strömungskanal eine schützende Oxidhaut, wodurch der darunter liegende Werkstoff vor weiteren oxidativen Angriffen geschützt ist. Mit zunehmender Betriebsdauer diffundiert Sauerstoff aus dem Strömungskanal durch die Schutzschicht hindurch und führt so zu einer Zunahme der Dicke der Oxidhaut. Am Ende erreicht der Sauerstoff den darunter liegenden Werkstoff. Die Oxidhaut platzt auf oder reißt ab aufgrund thermisch und mechanisch induzierter Spannungen, wobei die Schicht lokal wieder erneuert wird. Ist die Schutzschicht an den oben genannten Elementen verarmt, diffundiert der Sauerstoff in das Bauteil hinein. Die hierbei entstehenden Oxide weisen nur eine geringe schützende Eigenschaft auf, was zu einer massiven Bauteilschädigung mit Rissbildung führt.

Diese Beschichtung 3 wird vor dem nächsten Schritt entfernt. Danach wird die vorhandene Matrix 5 ausgelaugt und es erfolgt eine Wiederbeschichtung der Fasern. Anschließend wird durch Neuinfiltration der lokale Aufbau von keramischer Matrix 5 durchgeführt. Danach wird die Leitschaufel 1 wiederbeschichtet und abschließend die Fügung wieder hergestellt.

Zur Wiederherstellung der Beschichtung kann beispielsweise eine Diffusionsschicht erzeugt und/oder eine Überzugs- bzw. Auflageschicht aufgebracht werden. Bei der Erzeugung der Diffusionsschichten durch CVD-Verfahren (CVD ist gleich Chemical Vapour Deposition, Chemische Abscheidung aus der Gasphase) werden Aluminium- und Chromgehalte in den oberflächennahen Bereichen des Bauteils erhöht. Üblicherweise wird hierzu das "Packcementation"-Verfahren angewandt, bei dem die Bauteile bei einer Temperatur von ca. 700 bis 1100° C, vorzugsweise

bei einer Temperatur von 800 bis 1050° C, unter inerter oder reduzierender Atmosphäre mit Pulvern umgeben werden, in denen die erforderlichen Elemente angereichert sind. Durch den Aluminiumgehalt im Pulver kann gesteuert werden, ob eine Aluminiumdiffusion in das Bauteil hinein (High Activity Process) oder eine Nickeldiffusion aus dem Bauteil heraus in das Pulver (Low Activity Process) stattfindet. Im Hinblick auf den Heißgaskorrosionsschutz können Varianten der reinen Aluminid- (Alitier-)Schichten verwendet werden, wie beispielsweise mit Platin modifizierten Aluminidschichten. Das Diffusionsverfahren kann für eine Schichtdicke vorzugsweise bis zu 100 µm eingesetzt werden, während Auflageschichten sowohl dicker als auch komplexer zusammengesetzt abscheidbar sind. Das Aufbringen einer Auflageschicht wird dagegen mittels thermischer Spritzverfahren oder dem PVD-Verfahren (PVD ist gleich Plasma Vapour Deposition) durchgeführt. Insbesondere für die Verwendung in Gasturbinen sind Legierungen des Typs "MCrAlA" im Einsatz, die bei guter Abstimmung auf den Betriebszustand über mehrere 1000 Stunden den Aufbau einer dichten, passivierenden Oxidhaut gewährleisten. M steht für Matrixelemente wie beispielsweise Nickel, Kobalt, Eisen oder dergleichen sowie eine Kombination dieser Elemente. Zur Deckschichtbildung werden vorzugsweise Chrom, Aluminium oder dergleichen verwendet. A steht für Aktivelemente wie Yttrium, Hafnium, Zirkonium und/oder Ytterbium oder dergleichen. Zur Erhöhung der Aktivität der Deckschichtbildner kann zudem noch Silizium zugesetzt werden. Eine weitere Zugabe von Rhenium reduziert die Oxidationsrate und verbessert gleichzeitig das thermomechanische Verhalten des Systems.

30

Figur 4 zeigt einen weiteren erfindungsgemäßen Verfahrensablauf, bei dem zur Reparatur einer mechanischen Beschädigung 2 der Leitschaufel 1 zunächst die Fügung aufgelöst wird, und anschließend durch Schleifen die beschädigte Stelle mechanisch ausgemuldet wird. Im folgenden Schritt wird durch Neuinfiltration bzw. Rekonturieren die ursprüngliche Form der

35

Leitschaufel 1 wiederhergestellt. Danach wird die Leitschaufel 1 beschichtet und abschließend wieder gefügt.

- 5 In Figur 5 ist ein Verfahrensablauf zur Reparatur einer Leitschaufel 1 dargestellt, die durch Fremdkörpereinwirkung beschädigt ist. Zunächst wird in einem ersten Verfahrensschritt die Fügung aufgelöst und in einem nachfolgenden Verfahrensschritt die Matrix 5 an den betroffenen Stellen ausgelaugt.
- 10 Danach werden einzelne Keramikfasern 4 an den betroffenen Stellen eingewebt. Die Fasern 4 sind vorliegend aus einem Keramikwerkstoff gebildet. Anschließend wird durch Infiltration der lokale Wiederaufbau von keramischer Matrix 5 durchgeführt. Danach wird die Leitschaufel 1 gefügt und ein Oberflächen-
- 15 flächenschutz auf der Leitschaufel 1 aufgebracht.

- Ein weiterer erfindungsgemäßer Verfahrensablauf ist in Figur 6 dargestellt, bei dem im Unterschied zu dem in Figur 5
- 20 dargestellten Verfahrensablauf eine Wiederbeschichtung der Fasern vorgesehen ist.

- Die Ausführungsbeispiele sollen lediglich die Erfindung erläutern und diese nicht beschränken. Weitere Kombinationen
- 25 von Verfahrensschritten können vom Fachmann durchgeführt werden, ohne den Schutzbereich dieser Erfindung zu verlassen.

- Figur 9 zeigt ein Bauteil, insbesondere eine Lauf- oder
- 30 Leitschaufel 1 mit einer zu reparierenden Stelle 8.

Die zu reparierende Stelle 8 ist nach oben beschriebenen Verfahren behandelt worden und muss nur noch wieder aufgefüllt werden.

- Die zu reparierende Stelle 8 stellt eine Vertiefung dar und
- 35 wird durch einen Einsatz 11 ausgefüllt.

Dies kann beispielsweise ein Block aus Keramikfasern oder ein entsprechend dick geführtes Band sein, das noch infiltriert und wie schon beschrieben weiter behandelt wird.

Auf keinen Fall werden hier einzelne Matten oder einzelne

- 5 Bänder übereinander eingelegt, sondern ein einstückiger Einsatz 11, der dann eine hohe Festigkeit in der aufgefüllten zu reparierenden Stelle 8 aufweist.

Die zu reparierende Stelle 8 kann bspw. bis zu 4 mm tief sein und in der Fläche bis zu 50 x 50 mm groß sein.

- 10 Die Kante 12 der zu reparierenden Stelle 8 und damit auch der Einsatz 11 sind bspw. flach auslaufend ausgeführt, so dass sich wie in Figur 9 ein trapezförmiger Querschnitt der zu reparierenden Stelle 8 ergibt.

Gekrümmt verlaufende Übergänge vom Boden 14 der zu

- 15 reparierenden Stelle bis zur Oberfläche 17 sind ebenfalls möglich.



## Patentansprüche

1. Verfahren zur Reparatur eines beschädigten und/oder  
gealterten Bauteils einer Strömungsmaschine,  
5 welches zumindest teilweise aus einem keramischen Ver-  
bundwerkstoff gebildet ist,  
mit den Schritten:  
Auflösen der Fügung des Bauteils,  
mechanisches Bearbeiten des Bauteils,  
10 Erneuerung der keramischen Matrix des Bauteils und  
Wiederherstellen der Fügung,  
wobei die zu reparierende Stelle (8),  
die durch das mechanische Bearbeiten des Bauteils (1)  
entstanden ist,  
15 mit einem einstückigen Einsatz (11) aufgefüllt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Bauteil nach dem Schritt des Auflöserns der Fü-  
20 gung vor einer weiteren Bearbeitung entschichtet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass vor dem Schritt der Infiltration ein Einweben  
25 und/oder Wiederbeschichten der Fasern durchgeführt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Bauteil vor dem Schritt der Wiederherstellung  
30 der Fügung gesintert wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass das Bauteil vor dem Schritt der Wiederherstellung  
35 der Fügung beschichtet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass nach dem Schritt der Wiederherstellung der Fügung  
ein Oberflächenschutz vorgesehen wird.
- 5
7. Verfahren zur Reparatur eines beschädigten und/oder  
gealterten Bauteils einer Strömungsmaschine, welches zu-  
mindest teilweise aus einem keramischen Verbundwerkstoff  
gebildet ist, mit den Schritten:
- 10 Auslaugen der Matrix und/oder mechanisches Bearbeiten  
des Bauteils,  
Infiltration zur Wiederherstellung und/oder Erneuerung  
der keramischen Matrix des Bauteils und  
Sintern des Bauteils.
- 15
8. Verfahren nach Anspruch 7,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass nach dem Schritt des Auslaugens der Matrix und vor  
dem Schritt der Infiltration ein Einweben und/oder Wie-  
derbeschichten der Fasern durchgeführt wird.
- 20
9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass als Strömungsmaschine eine Gasturbine verwendet  
wird.
- 25
10. Verfahren nach Anspruch 9,  
dadurch gekennzeichnet,  
dass die Gasturbine überfeuert wird.

1 / 5

FIG 1

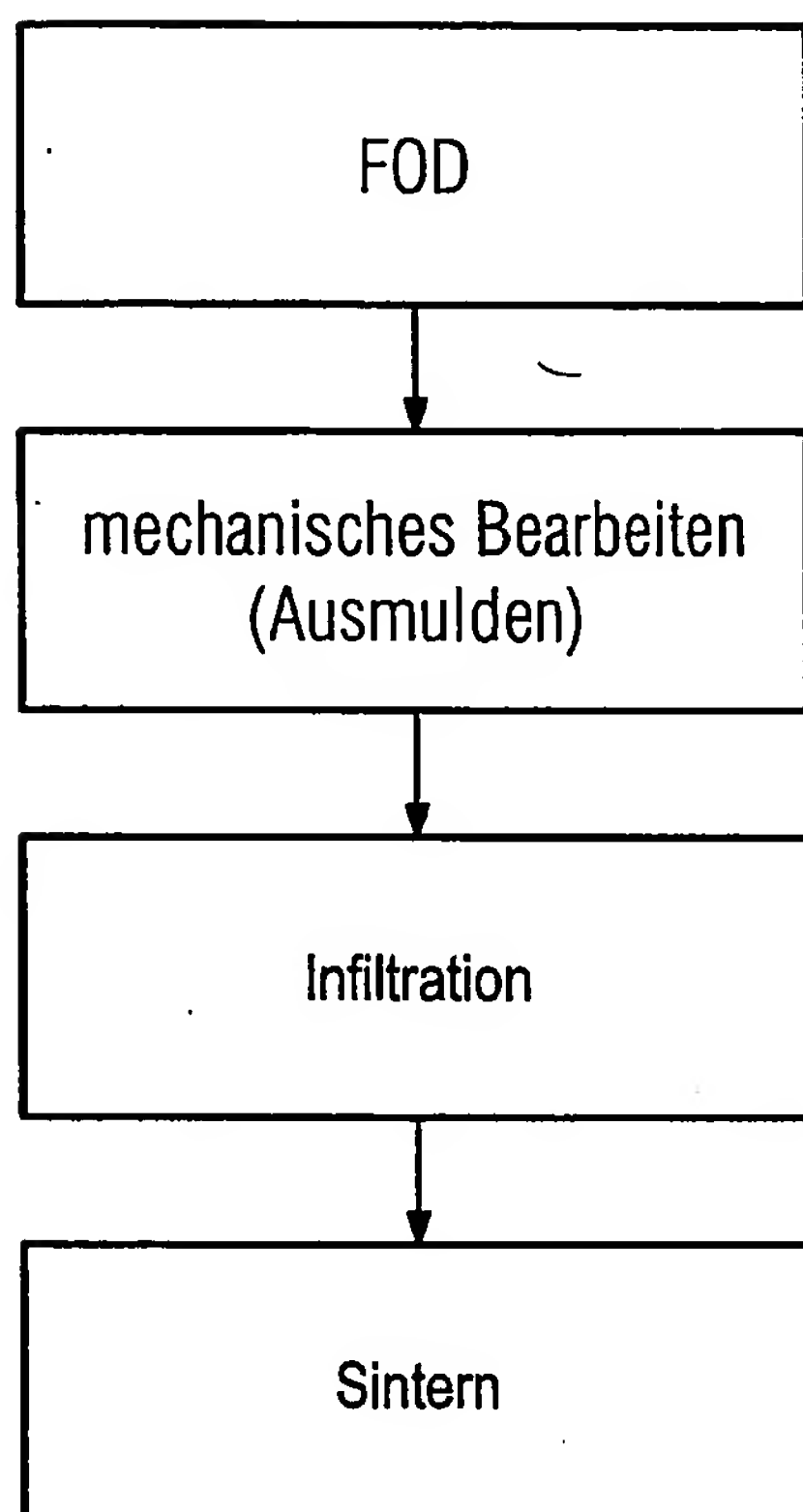
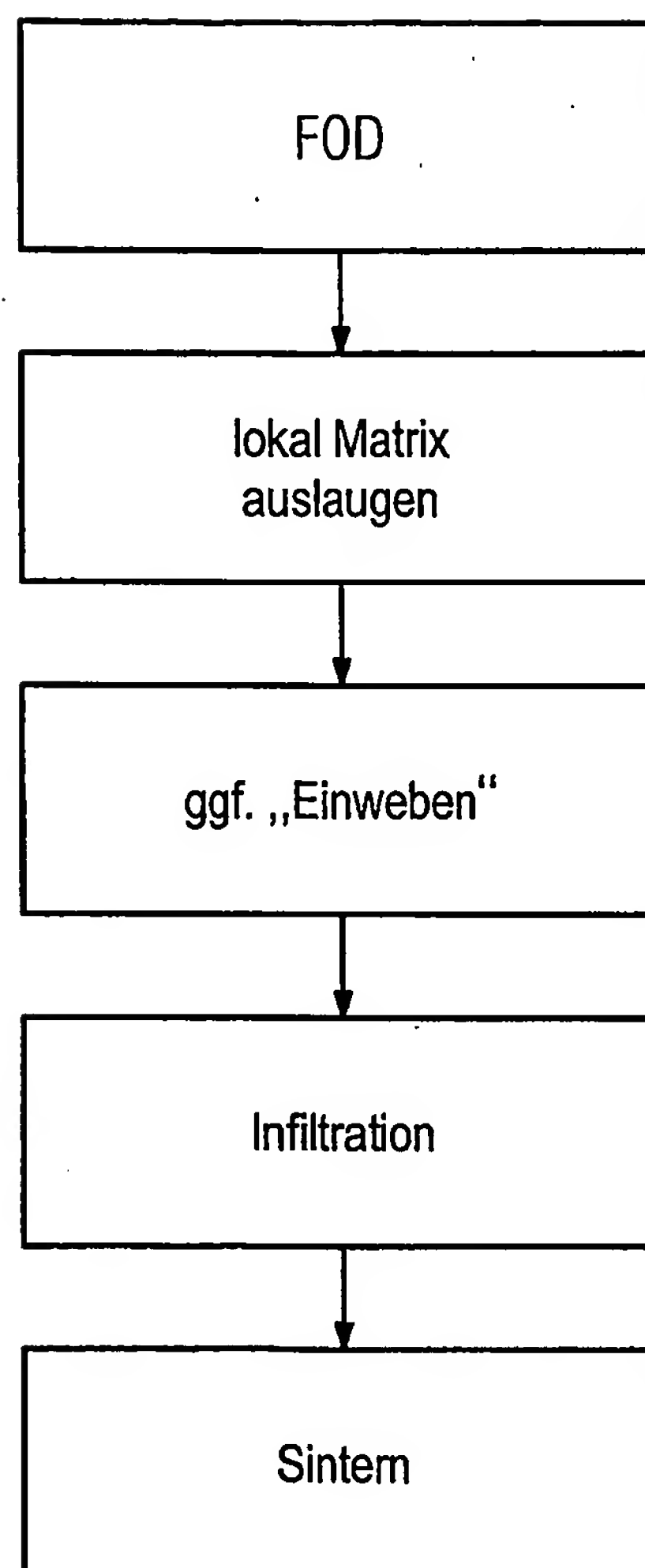


FIG 2



2 / 5

FIG 3

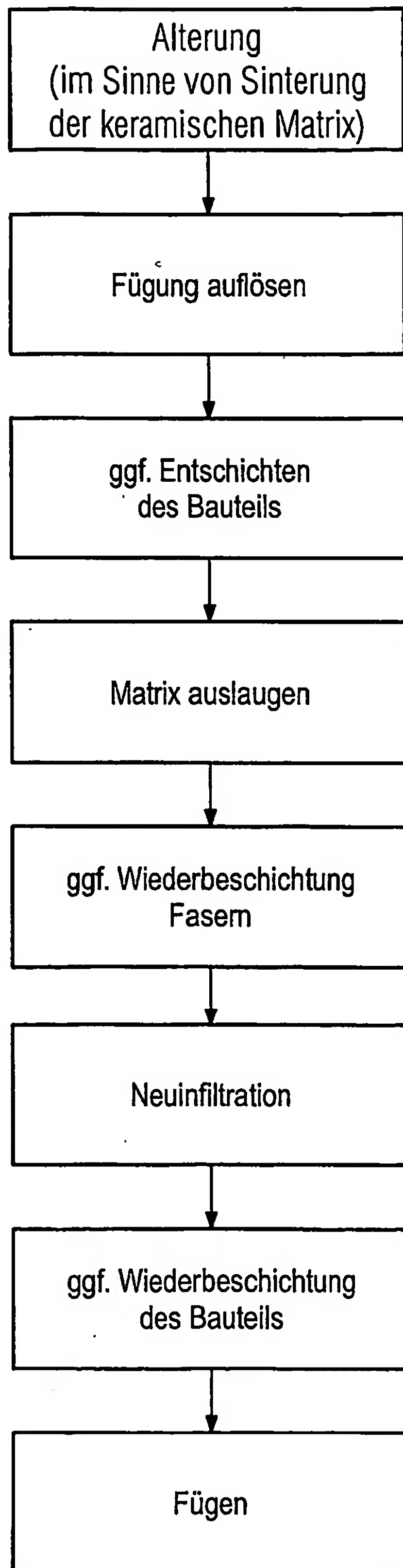
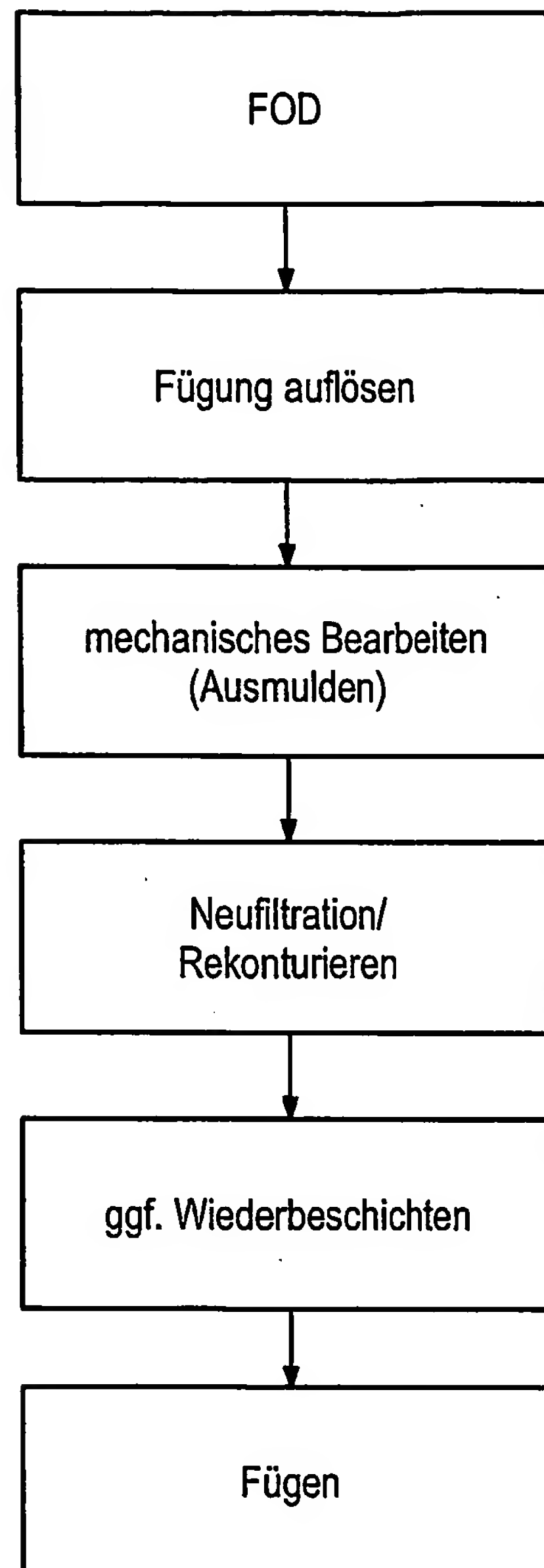


FIG 4



3 / 5

FIG 5

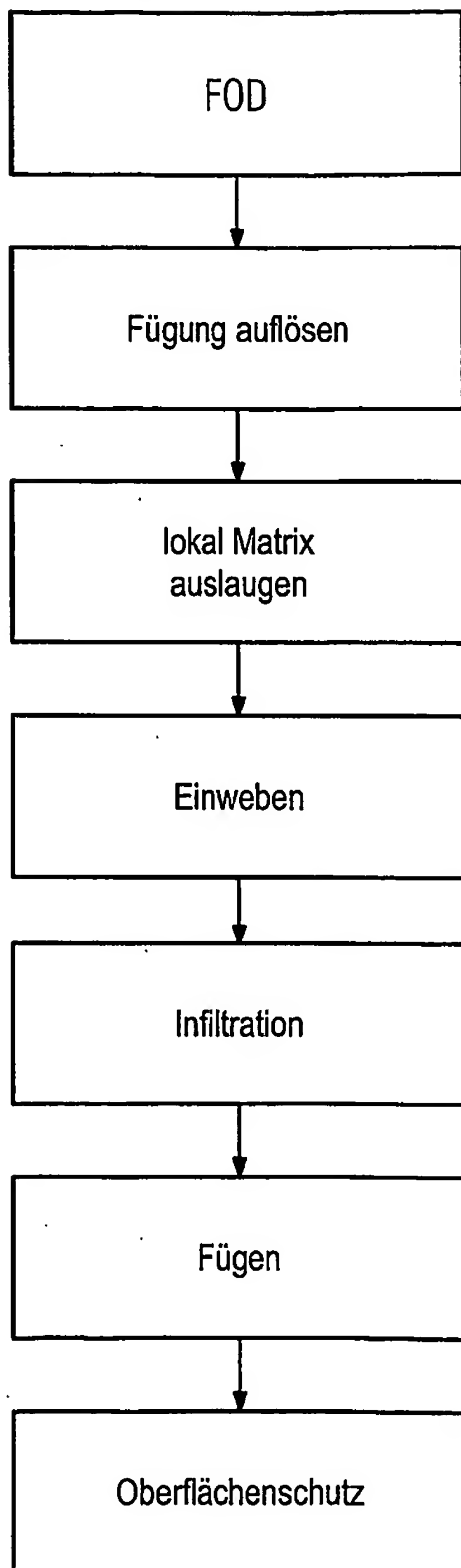


FIG 6

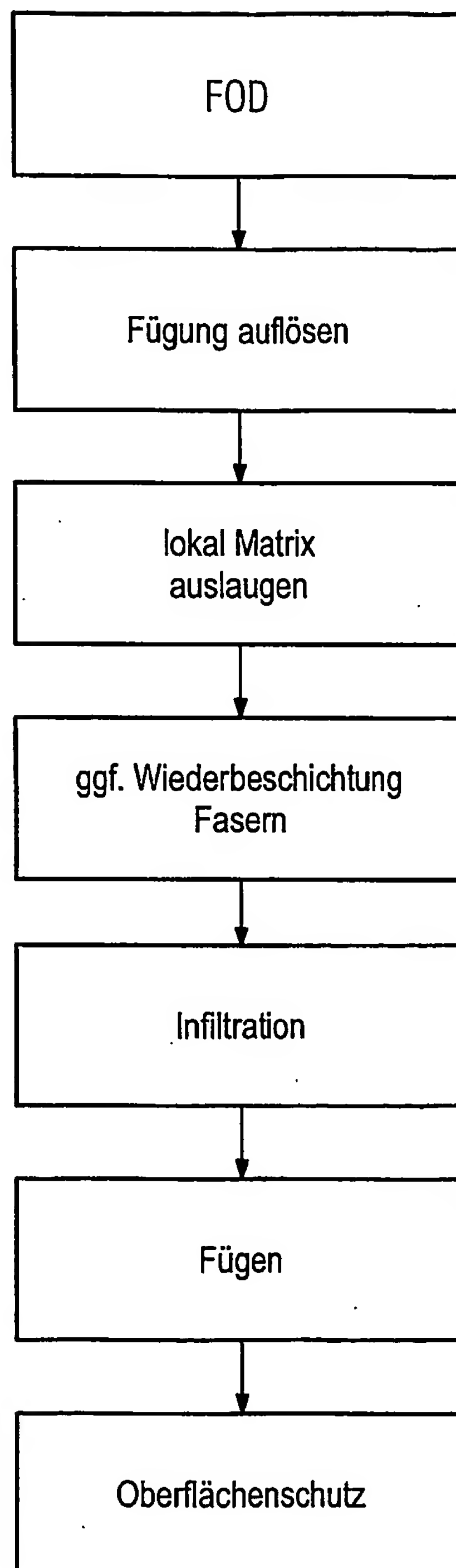




FIG 7

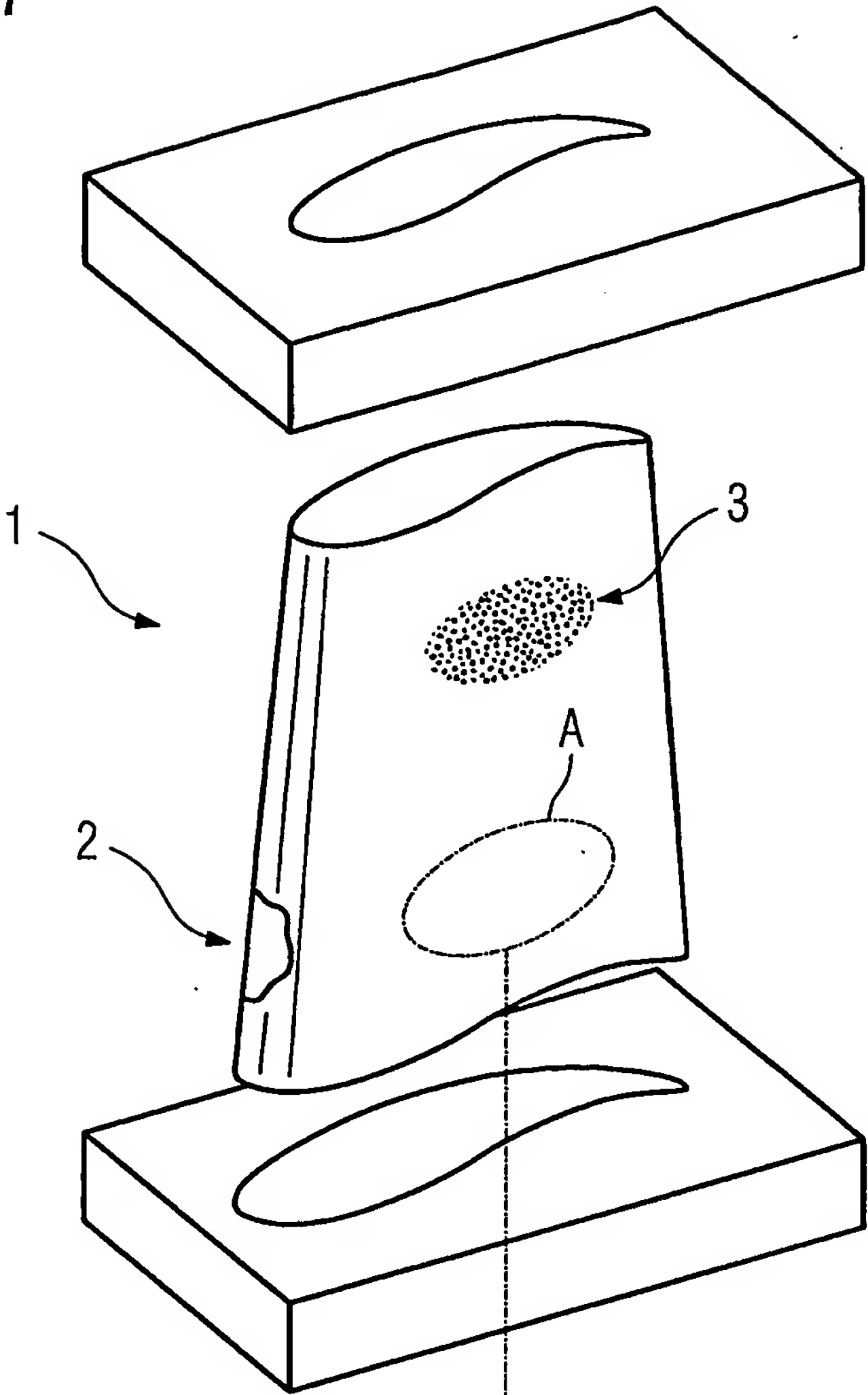
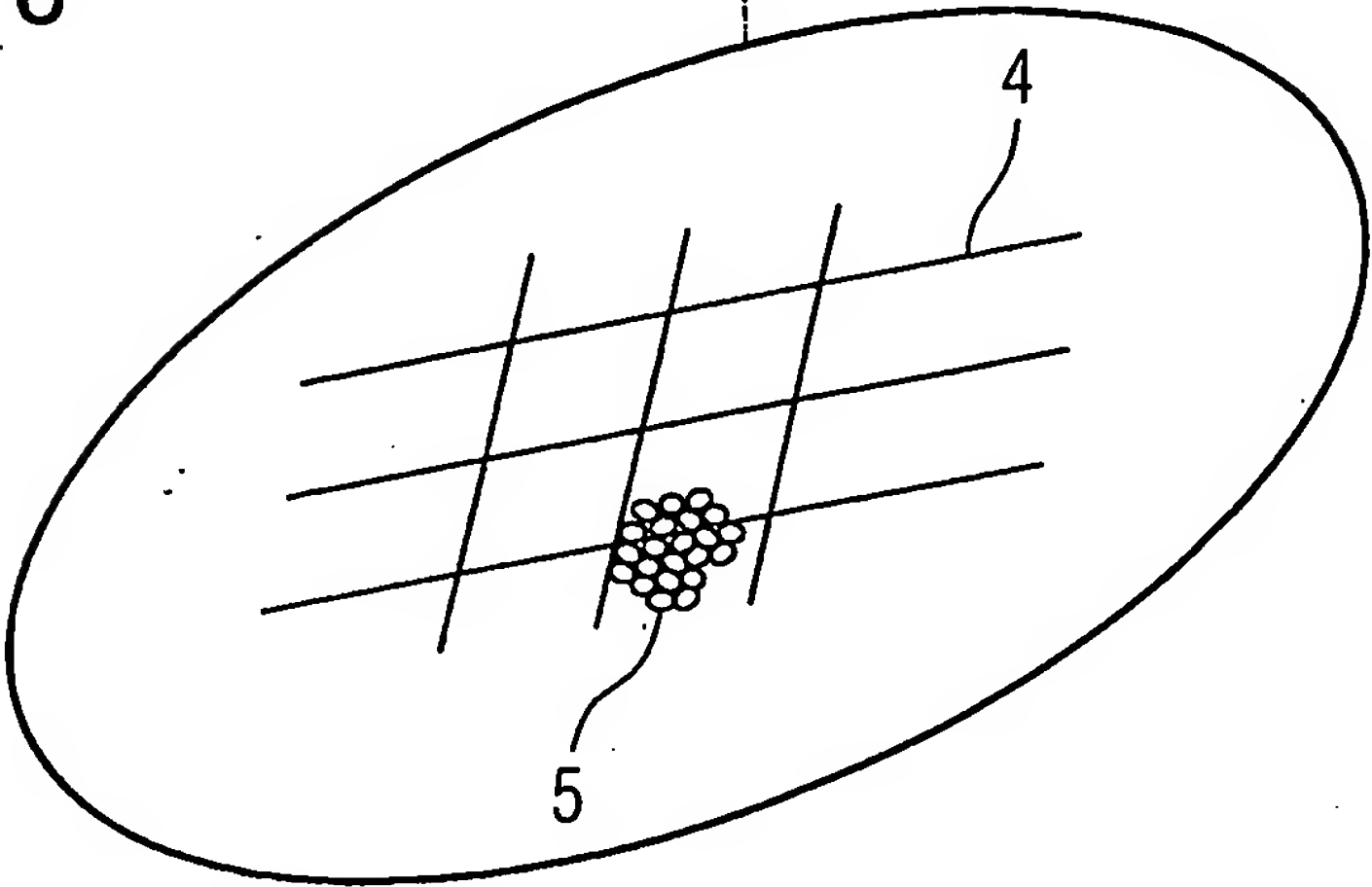


FIG 8



5/5

FIG 9

